

高精度金型温度調節機の開発

Development of Precise mold temperature controller

曾我尚紀*
Soga, Naoki

細江秀*
Hosoe, Shigeru

Plastic aspherical objective lens fabricated by injection molding method has been required high performance and low cost. To satisfy these needs, it is significant that high stable and reproducible injection molding process is realized. This paper presents a newly developed Mold Temperature Controller (MTC) to precisely keep mold temperature constant in the molding process. The MTC has the precise and first response sensor to detect temperature at thermally optimized position and the precise and first heating system. As a result, the MTC achieved 25% lower scatter of spherical aberration of plastic objective lens and increased the production yield.

1 はじめに

近年、光ディスク用プラスチック対物レンズは、ミニディスク (MD)、光磁気ディスク (MO) 等の書き込み光学系への採用や、デジタルビデオディスク (DVD) の製品化等により、低複屈性や高 NA (開口数) 化が要求されてきている。

これらの高い仕様を持つレンズを、効率よく安定成形するには、高い再現性を持つ成形工程が必要である。特に成形時における金型温度は、成形レンズの性能に直接影響する為、成形レンズの性能を高いレベルで一定に保つには、金型温度も高精度に一定制御されなければならない。そこで、金型温度を安定させる為にいくつかの改良を行い、従来に無い高精度な金型温度調節機を開発したので報告する。

2 金型温度制御の高精度化

一般に金型温度の制御は、金型温度調節機によって温度制御された水、油等の熱媒体を金型内に循環させ、これらの熱交換により行う。我々は、高精度な金型温度制御を達成する為、①入力部の温度検出用センサーの高精度化、②熱媒体温度制御の高速応答性、③温度検出対象の最適化を検討した。

2.1 金型温度検出用センサーの高精度化

従来、金型温度検出用センサーに使用していた K 熱電対と、より高精度な温度検出が期待出来る白金抵抗体について、それぞれの特徴を Table 1 に示す。

K 熱電対は、応答性は良いが基準接点が必要であり、白金抵抗体は、感度は良いが応答性が K 熱電対に比べて悪いという特徴がある。今回開発した高精度金型温度調節機に使用する金型温度検出用センサーとして、どちら

* オプト事業部 光学開発センター

Table 1 Properties of K type thermocouple and Pt resistance temperature sensor

	K熱電対	白金抵抗体
原理		
長所	<ul style="list-style-type: none"> 小さな箇所の温度が測れる。 応答性が良い。 振動、衝撃等に対して丈夫。 高温まで測れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ある大きさの部分の平均温度を測るのに都合が良い。 基準接点等を必要としない。 金属の電気抵抗と温度との直線性が良い。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 基準接点が必要。 配線の起電圧を考慮する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 応答性が悪い。 振動の激しい場所では破壊の恐れがある。

が適しているかを比較検討した。まず、同じ $\phi 3.2$ mm の K 熱電対と白金抵抗体、更に $\phi 1.6$ mm の白金抵抗体を用い、 24°C の室温から 49°C の水中に同時に投入した。Fig.1 は、その時の各出力温度値を示し、横軸に時刻、縦軸にその検出温度を表す。ここで、温度変化の 10% から 90% までに要した時間を立ち上がり時間とした。

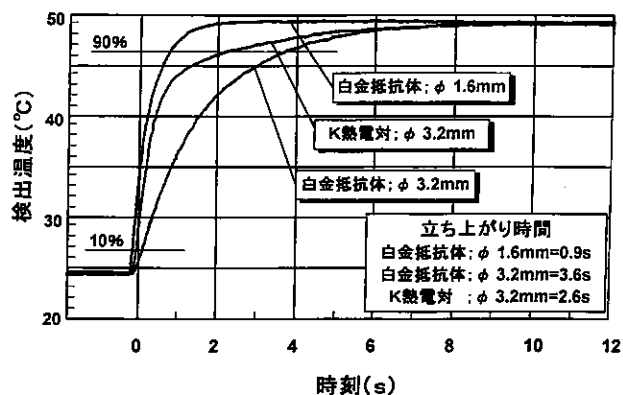


Fig.1 Response of thermal sensors

この結果から、 $\phi 3.2$ mmの白金抵抗体は同じ径のK熱電対に比べて応答性が悪い。しかし $\phi 1.6$ mmの白金抵抗体では、 $\phi 3.2$ mmのK熱電対より応答性がよい事が分かる。

次に、雰囲気温度変化の影響を調べた。23℃の水中に同じ $\phi 3.2$ mmのK熱電対と白金抵抗体を入れ、感温部の温度を一定に保つ。その状態で温度センサーの接続端子部に温度変化を与えた時の結果を、Fig.2に示す。

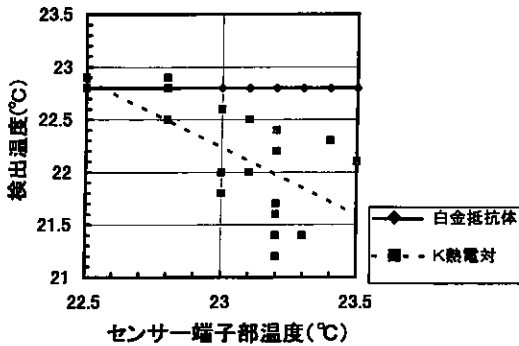


Fig.2 Comparison between K type thermocouple and Pt resistance temperature sensor

横軸に温度センサーの接続端子部の雰囲気温度、縦軸に検出温度を示す。◆は白金抵抗体、■はK熱電対である。感温部の温度はほぼ一定に保たれているにもかかわらず、K熱電対は基準接点を使用していない為、接続端子部の温度変化の影響を受け検出温度が変化している。その値は、雰囲気温度1℃あたり約-1.5℃に相当する。しかし、白金抵抗体では接続端子部の温度変化の影響を受けず、検出温度は一定に保たれている。

以上の結果から、高精度金型温度調節機に使用するべき金型温度検出用センサーには、従来の温度センサーより応答性に優れ、雰囲気温度変化の影響を受けない $\phi 1.6$ mmの白金抵抗体を使用することとした。

2.2 熱媒体温度制御の高速応答化

従来使用していた金型温度調節機の構造をFig.3に示す。

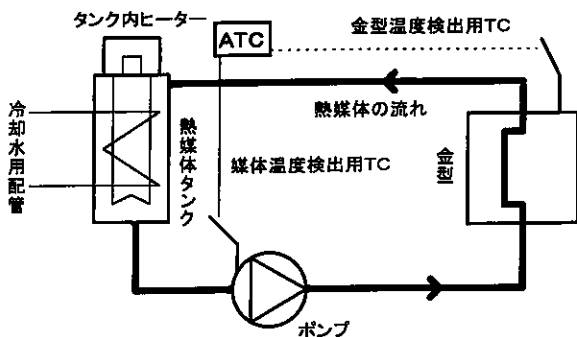


Fig.3 Constitution of conventional MTC

容量が比較的大きい熱媒体タンクの中にヒーターと冷

却水を流す配管がある。熱媒体の温度制御は、このヒーターと冷却水を制御することで行う。温度制御された熱媒体はポンプにより本体から送り出され、金型内を循環して熱交換を行った後、本体内の温度制御用熱媒体タンクに戻る。この構造は、多量の熱媒体の熱量をタンク内に蓄積する為、雰囲気温度変化等の外乱により熱媒体の温度変化が起こりにくいという利点がある。反面、この熱容量の大きさから熱媒体温度制御の応答性が悪く、大容量のヒーターを使用しなければならない。これは、明らかに高精度な温度制御を行うには不利である。そこで我々は、蓄熱部と制御部を分離し、熱媒体温度制御の高速応答化を実現することが重要であると考えた。すなわち、前述の白金抵抗体により検出した僅かな熱媒体温度の変化を、熱容量の小さい場所で迅速に打ち消す精密温度制御方式を考えた。今回開発した金型温度調節機の構造をFig.4に示す。

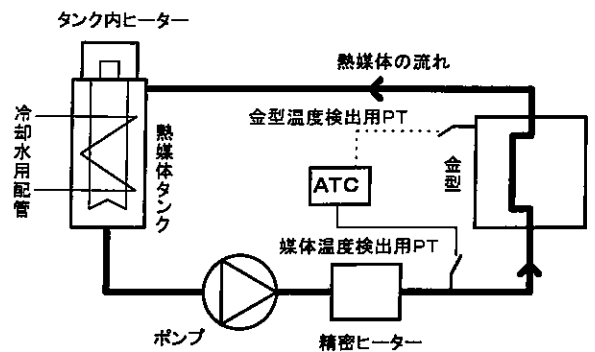


Fig.4 Constitution of newly developed MTC

熱媒体タンク内には予備加熱用ヒーターがあり、熱媒体は制御温度付近まで加熱される。このタンクの容量は、従来機と同程度に大きくしてあり、予備加熱を安定させるのに役立っている。しかし、ここでは高精度な熱媒体温度の制御は行わず、 ± 0.5 ℃程度の精度で制御する。次に、熱媒体は、熱媒体タンクからポンプにより精密ヒーターに送り出される。精密ヒーターは予備加熱ヒーターの半分以下の電気容量で、予備加熱された熱媒体を連続的に加熱する。熱媒体の出口温度を白金抵抗体により精密に検出し、これをもとに精密ヒーターの電流を高精度に制御する。この結果、一定温度となった熱媒体は金型に送られ、金型内で熱交換を終えた後、予備加熱タンクに戻る。

Fig.5は、従来のタンク内ヒーターによる加熱制御と今回開発した精密ヒーターによる加熱制御の制御特性を比較したものである。同一の金型温度調節機を用いて、光ディスク用プラスチック対物レンズ金型に接続し、実際的な系として測定を行った。

横軸に雰囲気温度、縦軸に各部における検出温度を示す。◆は媒体温度、■は金型温度を示し、点線は従来加熱制御、実線は精密加熱制御の結果である。熱媒体の雰

雰囲気温度係数は、従来加熱制御では $0.066\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ だが、精密加熱制御では $0.014\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ と $1/4$ 以下になった。更に金型温度の雰囲気温度係数は、従来加熱制御では $0.084\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ で、精密加熱制御では $0.020\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ と、これも $1/4$ 以下であった。以上の結果から、精密ヒーターにより小熱容量の熱媒体を高速に温度制御することができ、これによる高精度な金型温度制御が達成出来た。

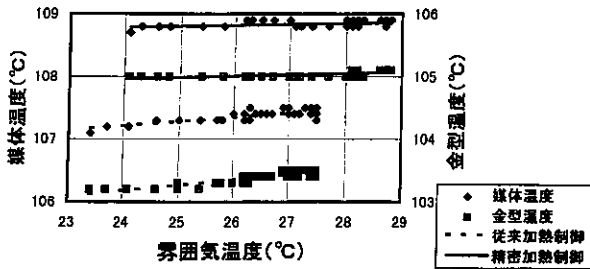


Fig.5 Comparison between storage tank heater method and pipe heater method

2.3 温度検出対象の最適化

金型温度調節機の温度制御には、熱媒体の温度を検出する媒体温度検出制御と金型温度を検出する金型温度検出制御がある。媒体温度検出制御は、熱媒体の温度を一定温度に制御し、間接的に金型温度を一定に保つ方式である。一方、金型温度検出制御は、金型温度を直接検出し、媒体温度を制御する。高精度金型温度調節機においては、両制御方式とも前提となる条件を必要とし、実際の成形環境における両者の優劣は判然としない。そこで、従来使用していた金型温度調節機と今回開発した金型温度調節機を光ディスク用プラスチック対物レンズ金型と組み合わせ、この時の制御特性と成形レンズの性能を確認した。その結果を Fig.6、Fig.7、Fig.8、Fig.9 に示す。

Fig.6、Fig.7 は従来機、Fig.8、Fig.9 は開発機の収差変動について示し、横軸に成形レンズの SHOT 数、縦軸に収差と検出温度を示す。△は収差、◆は媒体温度、■は金型温度である。収差は、金型の外乱を与えた部分に最も近いキャビティと十分に離れたキャビティで成形されたレンズについて、それぞれ測定した。Fig.6 から Fig.9 の収差は、金型の外乱を与えた部分に最も近いキャビティで成形したレンズの収差である。また外乱は、温度センサー付近の金型、及び熱媒体が金型温度調節機に戻る配管の一部に風を送ることで与えられている。従来機の金型温度検出用センサーには、そのまま K 熱電対を使用した。

従来機、開発機ともに媒体温度検出制御は、金型温度検出制御に比較して、金型温度の変動が小さく収差の変動も小さい。また、同一温度検出条件での従来機と開発機の比較では、外乱による両者の金型温度の変化に大きな差が生じていないため、収差にも大きな差は認められない。

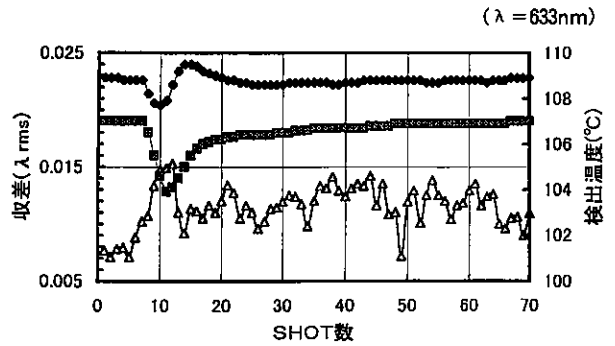


Fig.6 Result of heating medium temperature detecting control (Conv. MTC)

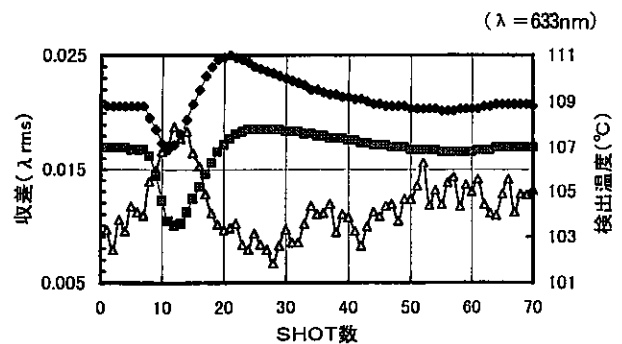


Fig.7 Result of mold temperature detecting control (Conv. MTC)

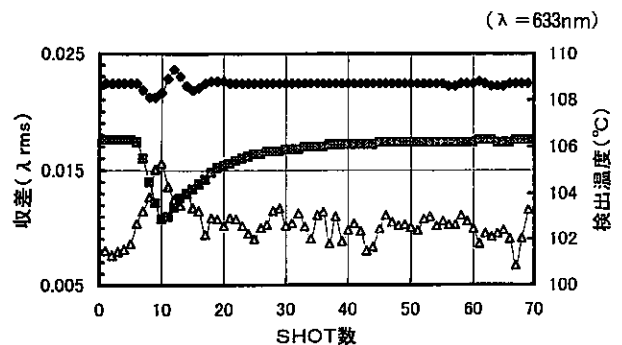


Fig.8 Result of heating medium temperature detecting control (Newly MTC)

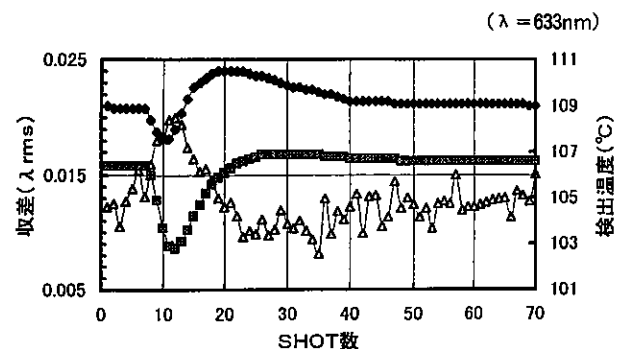


Fig.9 Result of mold temperature detecting control (Newly MTC)

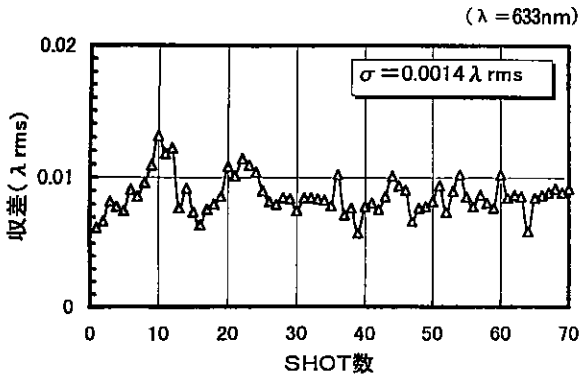


Fig.10 Result of heating medium temperature detecting control (Conv. MTC)

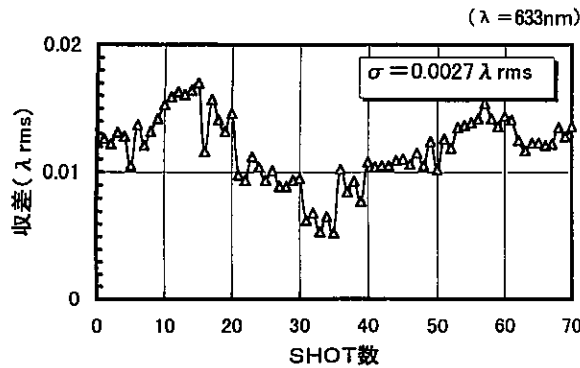


Fig.11 Result of mold temperature detecting control (Conv. MTC)

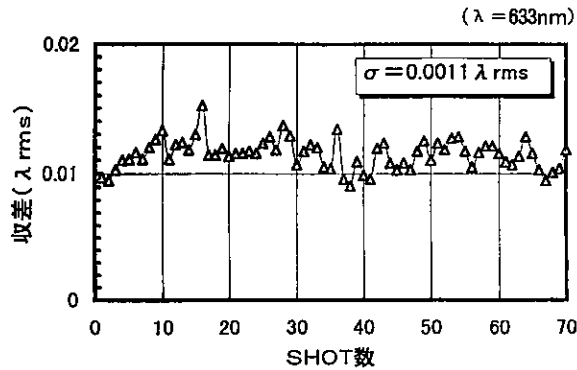


Fig.12 Result of heating medium temperature detecting control (Newly MTC)

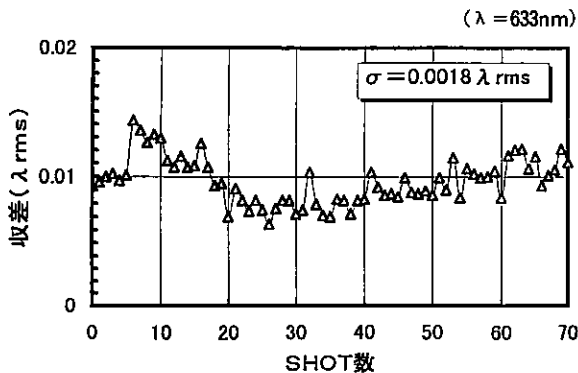


Fig.13 Result of mold temperature detecting control (Newly MTC)

次に、外乱の影響を直接受けにくいキャビティでの成形レンズの収差変動を Fig.10、Fig.11、Fig.12、Fig.13 に示す。横軸に成形レンズの SHOT 数、縦軸に収差を示す。

従来機、開発機ともに、媒体温度検出制御は金型温度検出制御に比べ、収差変動が小さい。また、収差の変動が最も小さく安定しているのは、Fig.12 の媒体温度検出制御の開発機であり、従来機の同等制御と比較して、標準偏差で 25% 程改善されている事が分かる。しかし、収差測定標準偏差が 0.002 λ であることを考慮すると、Fig.12 では収差の外乱の影響を測定精度以下に抑えているので、実際の制御精度がどこまで高いかをこの結果だけでは判別できない。

また、Fig.12 を除きこのキャビティの収差変動は、Fig.6 から Fig.9 の媒体温度との比較から、媒体温度変化の影響を直接受けていることが分かる。このことから、このキャビティ付近の金型温度は、媒体温度にほぼ等しいと推測することができる。

以上の結果から、実際の使用状態において、応答性に優れ高精度な白金抵抗体により検出された媒体温度を、新しい加熱方式により高速に媒体温度制御することで、高精度な金型温度制御が実現されたことが分かる。

3 おわりに

金型温度調節機を高精度化し、その結果金型温度を一定に保つことで、光ディスク用プラスチック対物レンズの収差変動を測定精度まで低減出来た。しかし、高精度金型温度調節機による季節変動などの長期的な金型温度変動の実績値はまだ得られていない。更に、媒体温度検出制御における最適な媒体温度検出場所も現在検討中である。本研究の最終目的である光ディスク用プラスチック対物レンズの安定化と高収率化には、更なる観察と検討が必要である。

●参考文献

- 1) 秋山欣也；金型温度調節機の上手な使い方と精度管理、プラスチック成形技術 (1986、Vol.2、No. 2)
- 2) 品川修二；金型温度調節機による金型の温度管理、合成樹脂 (1986、Vol.32、No. 5)
- 3) 佐藤康浩；CD用超耐熱小径プラスチックレンズの開発 KONICA TECHNICAL REPORT (1995、Vol.8)